

## FLY ASH BATUBARA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI UNTUK ORDINARY PORTLAND CEMENT ( OPC ) DENGAN PORTLAND POZZOLAN CEMENT ( PPC )

Dyah Suci Perwitasari

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur

Jl. Raya Rungkut Madya – Gunung Anyar Surabaya 60294

E-mail : [dyah@ftiupnjatim.ac.id](mailto:dyah@ftiupnjatim.ac.id)

### Abstrak

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung silica dan alumina, dalam bentuknya yang halus dan adanya air akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar dimana akan membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen. Bahan pozzolan yang digunakan diambil dari fly ash batubara P.T Tjiwi Kimia Mojokerto. Portland Pozzolan Cement banyak memiliki keunggulan sifat yang tidak dimiliki oleh jenis semen lain.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pozzolan fly ash dari P.T Tjiwi Kimia untuk Ordinary Pozzolan Cement (OPC) Semen Gresik, untuk mengetahui sifat-sifat fisika ( kehalusan, berat jenis, waktu pengikatan penyusutan, kadar udara, kuat tekan ) dan kimia ( komposisi semen ), serta untuk mengetahui komposisi pozzolan yang optimum.

Untuk mencapai tujuan dilakukan penelitian dengan metode eksperimen di laboratorium fisika dan kimia P.T Semen Gresik (Persero) Tbk, dengan membuat benda uji Portland Pozzolan Cement (PPC) dengan spesifikasi campuran Ordinary Pozzolan Cement (OPC) Semen Gresik dan fly ash dengan variasi campuran 0%, 10%, 20%, 30%, 40%.

Dari hasil penelitian fly ash batubara P.T Tjiwi Kimia Mojokerto memenuhi persyaratan mutu sesuai dengan SNI 15 – 0302 – 1994 dan ASTM, sehingga dapat digunakan dalam pembuatan Portland Pozzolan Cement (PPC), sedangkan untuk komposisi fly ash paling baik berdasarkan analisa dan pengujian adalah penambahan fly ash batubara P.T Tjiwi Kimia Mojokerto sebesar 20%.

### Pendahuluan

Fly ash batu bara merupakan sisai pembakaran dari batu bara yang berbentuk serbuk sehingga sangat memungkinkan apabila dibiarkan diruangan terbuka akan beterbangan, sehingga akan mengganggu pernafasan dan proses fotosintesis apabila menempel pada daun.

Dengan berdirinyaberbagai pabrik yang mempergunakan bahan bakar batu bara, seperti PT. Tjiwi Kimia Mojokerto, sehingga fly ash batu bara sebagai hasil pembakaran mengakibatkan dampak yang merugikan terutama akan memakan tempat untuk penampungan, mengganggu kesehatan dan mengganggu kelestarian lingkungan hidup.

Dari penelitian menunjukkan bahwa komposisi dari fly ash batu bara mempunyai banyak kesamaan dengan komposisi tras, sehingga sangat dimungkinkan fly ash batu bara dapat dipergunakan sebagai bahan pengganti tras, yang umumnya sebagai bahan pozzolan untuk pembuatan Portland Pozzolan Cement (PPC).

Oleh karena itu, kami mencoba memanfaatkan fly ash batu bara sebagai bahan pengganti pada jenis Pozzolan pada Portland Pozzolan Cement (PPC), disamping memanfaatkan limbah hasil industri juga mengurangi biaya produksi semen dengan mencampurkan fly ash dengan Ordinary Portland Cement (OPC) Semen Gresik.

Untuk itu perlu diadakan penelitian seberapa jauh perubahan kondisi secara fisika dan komposisi kimia semen setelah digunakan fly ash batu bara dengan berbagai proporsi.

Kata semen berasal dari bahasa latin "caementium" yang artinya bahan pengikat. Defenisi secara umum adalah serbuk dari kapur dan sebagainya untuk membuat beton, merekatkan batu bata, dan sebagainya.



Perkembangan pembangunan fisik di Indonesia yang semakin meningkat pesat menempatkan semen pada kedudukan yang strategis dan mengakibatkan permintaan bahan bangunan semakin bertambah pula. Untuk itu perlu peningkatan kemampuan dan penggunaan teknologi yang tepat dalam memanfaatkan sumber daya alam mineral untuk memenuhi permintaan bahan bangunan yang menunjukkan kenaikan kuantitas dan kualitasnya.

Permintaan yang digunakan dalam pemilihan obyek penelitian adalah sebagai berikut:

Perkiraan Konsumsi Semen Dunia Sampai Tahun 2005

Tahun	1985	1990	2000	2005
Juta Ton	952	1145	1338	1417

Sumber = International cement trade & shipping : The outlook to 2005 oleh ocean shipping consultant LTD

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa prospek kebutuhan dunia aka semen semakin meningkat.

Untuk itu, dilakukan penelitian dalam pembuatan *Portland Pozzolan Cement (PPC)* yang menggunakan pozzolan hasil pembakaran batu bara dengan maksud agar cadangan pozzolan untuk pembuatan *Portland Pozzolan Cement (PPC)* Semen Gresik lebih banyak karena banyak *fly ash* hasil industri yang belum dimanfaatkan secara maksimum.

Dibandingkan dengan *Ordinary Portland Cement (OPC)*, *Portlan Pozzolan Cement (PPC)* mempunyai keunggulan sifat – sifat sebagai berikut:

- Tahan terhadap agregat alkali
- Pemuaian dan penyusutan sangat kecil.
- Permeabilitas sangat kecil.
- Tahan terhadap asam tanah dan air laut, terutama jika dicampur dengan Ordinaru Portland Cement.
- Bersifat lentur jika ditekan sehingga beton menjadi kuat dan tidak mudah retak.

Proses pengerasan *Portlan Pozzolan Cement (PPC)* berlangsung agak lambat, namuan sejalan dengan proses pengerasan itu kuat tekan maupun kuat tariknya juga naik, tidak berhenti hanya beberapa bulan, tetapi setelah bertahun – tahun.

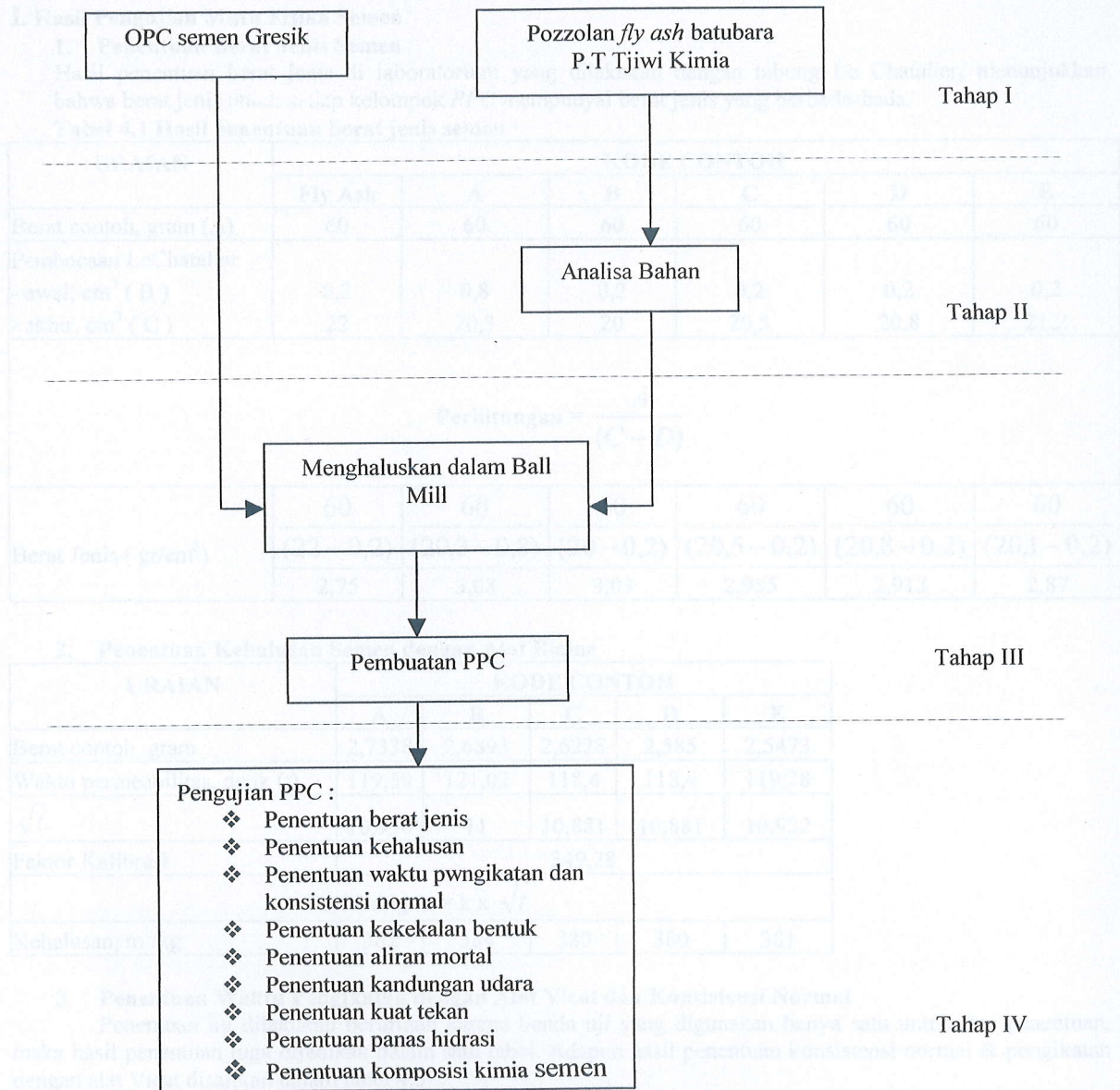
Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan *Fly Ash* batu bara sebagai bahan substitusi tras pada pembuatan PPC dengan mengetahui sifat – sifat fisika semen (kehalusan, berat jenis, waktu pengikatan, kekekalan bentuk, kuat tekan, panas hidrasi) dan komposisi kimia yang terjadi dalam pembuatan PPC menggunakan fly ash batu bara PT. Tjiwi Kimia Mjokerto serta mencari komposisi optimumnya.

- Penentuan waktu pengikatan dan konsistensi normal
- Penentuan kekekalan bentuk
- Penentuan aliran massa
- Penentuan kuat tekan awal
- Penentuan kuat tekan
- Penentuan panas hidrasi
- Penentuan komposisi kimia semen

Ruang lingkup penelitian



## Cara Penelitian



## Bagan alir penelitian

A (10% FA)			B (10% FA)			C (20% FA)		
Berat contoh : 650 gr			Berat contoh : 650 gr			Berat contoh : 650 gr		
Air adukan : 147 cc			Air adukan : 148 cc			Air adukan : 152 cc		
Kons. Normal : 22,62 %			Kons. Normal : 22,77 %			Kons. Normal : 22,38 %		
Obesek padat : 08,30			Obesek padat : 08,20			Obesek padat : 08,60		
Pengamatan (menit)	Pemeriksaan (mm)		Pengamatan (menit)	Pemeriksaan (mm)		Pengamatan (menit)	Pemeriksaan (mm)	
60	30		60	40		60	40	
75	38		75	35		75	35	
95	28		95	33		95	35	



## Hasil dan Pembahasan

### I. Hasil Pengujian Mutu Fisika Semen

#### 1. Penentuan Berat Jenis Semen

Hasil penentuan berat jenis di laboratorium yang dilakukan dengan tabung Le Chatalier, menunjukkan bahwa berat jenis untuk setiap kelompok PPC mempunyai berat jenis yang berbeda-bada.

Tabel 4.1 Hasil penentuan berat jenis semen

URAIAN	KODE CONTOH					
	Fly Ash	A	B	C	D	E
Berat contoh, gram (A)	60	60	60	60	60	60
Pembacaan LeChatalier						
- awal, cm <sup>3</sup> ( B )	0,2	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2
- akhir, cm <sup>3</sup> ( C )	22	20,3	20	20,5	20,8	21,2
$\text{Perhitungan} = \frac{A}{(C - D)}$						
Berat Jenis ( gr/cm <sup>3</sup> )	60 (22 - 0,2)	60 (20,3 - 0,8)	60 (20 - 0,2)	60 (20,5 - 0,2)	60 (20,8 - 0,2)	60 (20,1 - 0,2)
	2,75	3,08	3,03	2,955	2,913	2,87

#### 2. Penentuan Kehalusan Semen dengan Alat Blaine

URAIAN	KODE CONTOH				
	A	B	C	D	E
Berat contoh, gram	2,7338	2,6893	2,6228	2,585	2,5473
Waktu permeabilitas, detik (t)	119,59	121,02	118,4	118,4	119,28
$\sqrt{t}$	10,936	11	10,881	10,881	10,922
Faktor Kalibrasi	349,28				
$\text{Perhitungan} = k \times \sqrt{t}$					
Kehalusan, m <sup>2</sup> /kg	382	384	380	380	381

#### 3. Penentuan Waktu Pengikatan dengan Alat Vicat dan Konsistensi Normal

Penentuan ini dilakukan berurutan karena benda uji yang digunakan hanya satu untuk dua penentuan, maka hasil penentuan juga dijadikan dalam satu tabel. Adapun hasil penentuan konsistensi normal & pengikatan dengan alat Vicat disajikan dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil penentuan waktu pengikatan & konsistensi normal

KODE CONTOH					
A ( 0% FA )		B ( 10% FA )		C ( 20% FA )	
Berat contoh : 650	gr	Berat contoh : 650	gr	Berat contoh : 650	gr
Air adukan : 147	cc	Air adukan : 148	cc	Air adukan : 152	cc
Kons. Normal : 22,62	%	Kons. Normal : 22,77	%	Kons. Normal : 22,38	%
Dicetak pukul : 08.30		Dicetak pukul : 08.20		Dicetak pukul : 08.00	
Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )	Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )	Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )
65	39	70	40	60	40
72	38	110	38	135	36
95	29	120	33	140	35



100	24	130	32	170	33
		140	28	190	26
		145	24	225	23
Waktu pengikatan, menit		Waktu pengikatan, menit		Waktu pengikatan, menit	
Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
100	200	145	220	225	330

Tabel 4.3 Hasil penentuan konsistensi normal & waktu pengikatan

KODE CONTOH					
D ( 30% FA )		E ( 40% FA )			
Berat contoh : 650 gr		Berat contoh : 650 gr			
Air adukan : 154 cc		Air adukan : 162 cc			
Kons. Normal : 23,69 %		Kons. Normal : 24,92 %			
Dicetak pukul : 07.45		Dicetak pukul : 07.35			
Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )	Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )	Pengamatan (menit)	Penetrasi ( mm )
70	40	120	36		
105	39	165	33		
145	37	185	31		
155	36	215	28		
175	32	285	24		
190	29				
240	24				
Waktu pengikatan, menit		Waktu pengikatan, menit		Waktu pengikatan, menit	
Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
240	460	285	520		

Penentuan waktu pengikatan pada penambahan *fly ash* 0% sampai 20% memenuhi persyaratan, sedangkan pada penambahan *fly ash* 30% sampai 40% tidak memenuhi persyaratan. Dalam penentuan waktu pengikatan, didapatkan hasil bahwa semakin banyak penanmbahan *fly ash* semakin panjang pula waktu pengikatannya. Hal ini disebabkan karenan kuantitas OPC berkurang.

4. Penentuan Pemuaiian / Penyusutan ( Kekekalan bentuk )

Berdasarkan penentuan yang dilakukn di laboratorium P.T Semen Gresik (Persero) Tbk terhadap kekekalan bentuk dengan alat autoclave, menunjukkan bahwa benda uji ada yang mengalami pemuaiian dan ada yang mengalami penyusutan. Hasil penentuan ditunjukkan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil penentuan pemuaiian / penyusutan ( kekekalan bentuk )

KODE CONTOH									
A ( 0% FA )		B ( 10% FA )		CA ( 2 0% FA )		D ( 30% FA )		E ( 40% FA )	
Pengukuran		Pengukuran		Pengukuran		Pengukuran		Pengukuran	
Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
3,54	3,62	1,8	1,82	7,54	7,5	9,54	9,49	9,66	9,6
Perhitungan = $\frac{akhir - awal}{250} \times 100$									
$\frac{3,62 - 3,54}{250} \times 100$		$\frac{1,82 - 1,8}{250} \times 100$		$\frac{7,5 - 7,54}{250} \times 100$		$\frac{9,49 - 9,54}{250} \times 100$		$\frac{9,6 - 9,66}{250} \times 100$	
0,032 %		0,008 %		-0,016 %		-0,02 %		-0,024 %	

Penentuan kekekalan bentuk untuk komposisi penambahan *fly ash* 0% sampai 10% mengalami pemuaiian, sedangkan untuk komposisi 20% sampai 40% mengalami penyusutan. Pemuaiian dan penyusutan yang



terjadi masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Pada penentuan kekekalan bentuk didapatkan hasil, bahwa semakin banyak penambahan *fly ash* dalam *Ordinary Portland Cement (OPC)* Semen Gresik mortar akan mengalami penyusutan.

5. Penentuan Aliran Mortar

Sebelum mortar dibuat benda uji untuk kuat tekan, perlu di uji kelecakannya untuk mencari kebutuhan air pada mortar. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium P.T Semen Gresik (Persero) Tbk terhadap kelecakan mortar didapatkan hasil penentuan pada tabel 4.5

Tabel 4.5. Hasil penentuan kelecakan / Aliran mortar

URAIAN	KODE CONTOH				
	A ( 0% FA )	B ( 10% FA )	CA ( 2 0% FA )	D ( 30% FA )	E ( 40% FA )
Berat semen, gram	740	740	740	740	740
Berat pasir standar, gram	2,035	2,035	2,035	2,035	2,035
Air adukan, cc	375	370	360	345	335
Penyebaran mortar, cm (A)	21	21,1	21,5	21,4	21,2
Perhitungan = $\frac{A - 10,16}{10,16} \times 100$					
Penyebaran mortar, %	106,69	107,68	111,61	110,63	108,66

6. Penentuan Kandungan Udara pada Mortar

Berdasarkan penentuan yang tealh dilakukan di olaboratorium fisika P.T Semen Gresik (Persero) Tbk, terhadap kandungan udara pada mortar. Didapatkan hasil kandungan udara pada mortar yang berbeda-beda pada setiap kelompok. Adapun hasil kandungan udara untuk setiap kelompok ditunjukkan tabel 4.6

Tabel 4.6. Hasil penentuan kandungan udara

URAIAN	KODE CONTOH				
	A ( 0% FA )	B ( 10% FA )	CA ( 2 0% FA )	D ( 30% FA )	E ( 40% I
Berat pasir standar 20-30, gram	1400	1400	1400	1400	1400
Air adukan, cc	265	262	251	248	245
Volume air, % (P)	75,71	74,86	71,71	70,86	70
Penyebaran, mm	189	188	187	188	185
Penyebaran mortar, %	842,93	852,2	865,31	875,5	880,1
Perhitungan = $100 - w \frac{182,7 + P}{2000 + 4P}$					
Kandungan udara	5,41	4,54	3,73	2,78	2,45

Hasil penentuan kandungan udara pada mortal didapatkan hasil bahwa semakin banyak penambahan *fly ash* dalam *Ordinary Portland Cement (OPC)* Semen Gresik maka semakin sedikit kandungan udara pada pasta semen. Hal ini disebabkan karena *fly ash* lebih halus dari OPC.

7. Penentuan Kuat Tekan

Berdasarkan penentuan kuat tekan yang dilakukan di laboratorium fisika P.T Semen Gresik (Persero) Tbk pada umur 3, 7 dan 28 hari didapatkan hasil penentuan yang ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel. 4.7 Hasil penentuan kuat tekan

URAIAN	KODE CONTOH				
	A(0% FA)	B(10%FA)	C(20%FA)	D(30%FA)	E(40%FA)
Kuat tekan umur 3 hari, (kg/cm <sup>2</sup> )	296,92	299,8	291,4	288,3	219,0



	288,9	290,3	285,9	265,5	231,0
	287,4	298,5	295,5	279,5	218,3
Kuat tekan umur 7 hari, (kg/cm <sup>2</sup> )	394,9	396,3	387,6	369,0	254,5
	376,7	385,5	382,1	382,1	292,1
	383,9	379,1	384,6	386,2	285,3
Kuat tekan umur 28 hari, g/cm <sup>2</sup> )	585,1	589,6	572,9	526,7	451,9
	578,8	605,5	533,6	507,2	478,4
	568,7	594,2	516,2	513,2	470,6
Kuat tekan rata-rata (kg/cm <sup>2</sup>					
❖ Umur 3 hari	291,07	296,2	290,93	277,76	222,8
❖ Umur 7 hari	385,16	386,97	384,76	379,1	277,3
❖ Umur 28 hari	577,53	596,43	542,57	515,7	466,97

Pada umur 3 hari untuk komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan, pada umur 7 hari untuk semua komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada umur 28 hari untuk semua komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Dalam penentuan kuat tekan pada mortar umur 3, 7 dan 28 hari didapatkan hasil bahwa pada penambahan 10% *fly ash* kuat teka maksimum. Hasil penentuan akan dibandingkan dengan syarat yang ditetapkan SNI 0302 – 1999.

8. Penentuan Panas Hidrasi

Berdasarkan penentuan yang telah dilakukan di laboratorium fisika P.T Semen Gresik (Persero) Tbk, terhadap panas hidrasi semen dengan alat calorimeter, didapatkan hasil panas hidrasi semen yang berbeda-beda pada setiap kelompok. Adapun hasil panas hidrasi untuk setiap kelompok ditunjukkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil penentuan panas hidrasi

URAIAN	KODE CONTOH				
	A	B	C	D	E
Panas pelarutan semen kering, kal/gr	606,88	594,16	587,23	584,66	582,23
Panas hidrasi, semen terhidrasi 7 hari, kal/gr	83,762	73,46	68,946	59,48	58,89
Panas hidrasi, semen terhidrasi 28 hari, kal/gr	90,897	80,35	76,471	69,85	64,87
Kapasitas panas alat kalorimeter, kal/gr = 420,50					

Untuk panas hidrasi 7 hari pada penambahan *fly ash* dengan komposisi 0% tidak memenuhi persyaratan, pada komposisi 10% hampir memenuhi persyaratan dan pada komposisi 20% sampai 40% memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Untuk panas hidrasi 28 hari pada penambahan *fly ash* dengan komposisi 0% tidak memenuhi persyaratan, pada komposisi 10% sampai 40% memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

II. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Semen

Pada penentuan kimia semen, penentuan Laboratotium kimia P.T Semen Gresik (Persero) Tbk. Adapun hasil penentuan kimia semen ditunjukkan pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil penentuan kimia semen

URAIAN	KODE CONTOH				
	A(0%FA)	B(10%FA)	C(20%FA)	D(30%FA)	E(40%FA)
Silicon Dioksida (SiO <sub>2</sub> ) %	20,42	22,13	23,48	24,27	25,83
Alumunium trioksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	6,17	9,64	11,61	14,20	16,96
Ferri Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	3,57	5,29	8,19	9,84	11,82
Calsium Oksida (CaO) %	63,41	57,82	51,78	47,15	41,13
Magnesium Oksida (MgO) %	0,99	0,87	1,00	1,05	1,16
Sulfur Trioksida (SO <sub>3</sub> ) %	2,52	2,43	2,41	2,39	2,36
Hilang pijar (LOI) %	2,17	1,85	1,79	1,56	1,59
Kapur bebas (FL) %	0,41	0,08	0,04	0,00	0,00
Bagian tak larut (Insol) %	0,49	5,15	9,48	14,92	19,76



Hasil uji komposisi kimia semen yang telah dilakukan di laboratorium kimia P.T Semen Gresik (Persero) Tbk setelah dibandingkan dengan persyaratan yang ditetapkan SNI 15 – 0302 – 1999 ternyata semua kelompok PPC memenuhi

### Kesimpulan.

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *fly ash* pada *Ordinary Portland Cement* (OPC) Semen Gresik mempunyai pengaruh sebagai berikut :
  - Penentuan kehalusan semen untuk setiap komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan
  - Penentuan waktu pengikatan pada penambahan *fly ash* 0% sampai 20% memenuhi persyaratan, sedangkan pada penambahan *fly ash* 30% sampai 40% tidak memenuhi persyaratan.
  - Penentuan kekekalan bentuk untuk komposisi penambahan *fly ash* 0% sampai 10% mengalami pemuaian, sedangkan untuk komposisi 20% sampai 40% mengalami penyusutan. Pemuaian dan penyusutan yang terjadi masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
  - Penentuan kuat tekan mortar :
    - Pada umur 3 hari untuk semua komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
    - Pada umur 7 hari untuk semua komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
    - Pada umur 28 hari untuk semua komposisi penambahan *fly ash* memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
  - Penentuan panas hidrasi :
    - Untuk panas hidrasi 7 hari pada penambahan *fly ash* dengan komposisi 0% tidak memenuhi persyaratan, pada komposisi 10% hampir memenuhi persyaratan dan pada komposisi 20% sampai 40% memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
    - Untuk panas hidrasi 28 hari pada penambahan *fly ash* dengan komposisi 0% tidak memenuhi persyaratan, pada komposisi 10% sampai 40% memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
2. *Fly ash* hasil pembakaran batubara PT. Tjiwi Kimia Mojokerto memenuhi persyaratan mutu kimia dan fisika dari SNI 15-0302-1994 dan ASTM, sehingga dapat digunakan untuk pembuatan *Portland Pozzolan Cement* (PPC).
3. Komposisi yang paling optimum berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan adalah pada komposisi penambahan *fly ash* sebesar 10% sampai 20%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1973, "Garis Besar Pengerasan Semen Gresik Secara Kimia", P.P.S.P.T Semen Gresik (Persero) Tbk.
- Anonim, 1996, "Annual Book of ASTM Standards", Volume 04.01
- Anonim, 1999, "Annual Book of ASTM Standards", Volume 04.02
- Anonim, SNI 15 – 0302 – 1999, "Semen Portland Pozzolan", Badan Standarisasi Nasional – BSN.
- Anonim, 2001, "Semen Portland dan Semen Portland Pozzolan", P.P.S. P.T Semen Gresik (Persero) Tbk.
- Lea,FM, 1988, "The Chemistry of Cement and Concrete", 4<sup>th</sup> edition, Chemical Publishing Company Inc, New York.